



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-93-98>  
УДК 669.017

Поступила 15.05.2020  
Received 15.05.2020

## АРТЕФАКТЫ В МЕТАЛЛОГРАФИИ: ПЫЛЬ

А. Г. АНИСОВИЧ, ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск, Беларусь,  
ул. Купревича, 10. E-mail: [anna-anisovich@yandex.ru](mailto:anna-anisovich@yandex.ru)

*В статье рассматривается идентификация частиц пыли на поверхности металлографических образцов. Отмечается, что объем литературы, посвященной металлографическим артефактам, небольшой. Это связано с тем, что русскоязычная литература металлографического направления создавалась давно, когда фиксирование структуры проводили фотометодом на фотопластинки или пленку. Трудоемкость процесса и недостаток фотоматериалов исключали наработку сведений о металлографических артефактах.*

*Современные металлографические комплексы фиксируют изображения структуры цифровым способом. Поэтому, помимо изображений структуры, возможно без ограничений фиксировать и артефакты пробоподготовки. Проиллюстрированы частицы пыли на поверхности металлографических шлифов и их отличие от неметаллических включений. Рассмотрено применение темнопольного освещения и поляризованного света для идентификации артефактов. Проиллюстрированы некоторые эффекты, возникающие при металлографическом травлении.*

**Ключевые слова.** Металлография, пробоподготовка, пыль, сульфиды, оксидные включения.

**Для цитирования.** Анисович, А. Г. Артефакты в металлографии: пыль / А. Г. Анисович // Литье и металлургия. 2020. № 3. С. 93–98. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-93-98>.

## ARTIFACTS IN METALLOGRAPHY: DUST

A. G. ANISOVICH, Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
10, Kuprevich Str. E-mail: [anna-anisovich@yandex.ru](mailto:anna-anisovich@yandex.ru)

*The article discusses the identification of dust particles on the surface of metallographic samples. It is noted that the volume of literature on metallographic artifacts is very small one. This is due to the fact that the Russian – language literature of the metallographic direction was written long ago when the structure was fixed using the photographic method on photographic plates or film. The complexity of the process and the lack of photographic materials excluded the generation of information about metallographic artifacts.*

*Modern metallographic complexes capture structure images digitally. Therefore, in addition to images of the structure, it is possible to record sample preparation artifacts without restrictions. Dust particles on the surface of metallographic sections and their difference from non-metallic inclusions are illustrated. The use of dark-field illumination and polarized light to identify artifacts is considered. Some effects arising from metallographic etching are illustrated.*

**Keywords.** Metallography, sample preparation, dust, sulfides, oxide inclusions.

**For citation.** Anisovich A. G. Artifacts in metallography: dust. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 3, pp. 93–98. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-93-98>.

В металлографии анализ структуры материалов проводится с целью установить связь между структурой и способом обработки и/или получения материала. Для этого фиксируют наиболее характерные участки структуры образца, в том числе свободные от различного рода дефектов пробоподготовки. Такие дефекты могут возникать при отрезке образца, его шлифовке, полировке, травлении. Квалифицированная металлография требует минимизации таких дефектов (артефактов). Краткие сведения о дефектах пробоподготовки содержатся в литературе по металлографии, где приводятся в основном фотографии «кометных хвостов» [1] или разбираются примеры неудовлетворительного травления на микроструктуру [2]. Объем иллюстративного материала при этом невелик. Незначительный объем фотографий связан с тем, что вся русскоязычная литература металлографического направления создавалась весьма давно, когда фиксирование структуры производилось фотометодом. Трудоемкость процесса исключала наработку материалов такого рода. Также количество иллюстративного материала зачастую ограничивалось издательствами по финансовым и техническим соображениям. Цветные изображения структур или артефактов были редки.

В современной металлографии, помимо смены метода регистрации изображений, изменились и сами микроскопы. В настоящее время они позволяют фиксировать изображения структуры в цвете [3], при увеличении до 2000–3000 крат с использованием многообразных способов оптического контрастирования, таких, как темнопольное освещение, поляризованный свет, дифференциально-интерференционный контраст и др. [4]. Эти методы контрастирования не являются изобретением сегодняшнего дня; они применялись и в прошлом, но развитие оптики в настоящее время позволяет использовать их гораздо более эффективно. При этом исследователь должен уметь надежно установить наличие артефактов пробоподготовки и отличить их от деталей структуры. В особенности данный вопрос актуален для тех, кто только осваивает искусство металлографии и нуждается в методической помощи.

Данная статья открывает серию публикаций на тему об артефактах металлографической пробоподготовки. Темой настоящей статьи выбрана пыль на поверхности образцов.

Пыль – это мелкие твердые частицы органического или минерального происхождения [5]. К пыли относят частицы диаметром от долей микрона и до максимального – 0,1 мм. Более крупные частицы переводят материал в разряд песка, который имеет размеры от 0,1 до 5,0 мм. В бытовой пыли содержится 35 % минеральных частиц, 12 % текстильных и бумажных волокон, 19 % чешуек кожи, 7 % цветочной пыльцы, 3 % частиц сажи и дыма. Оставшиеся 24 % неустановленного происхождения, космическая пыль [5]. Пыль на поверхности металлографических шлифов может появляться осаждением из воздуха, а также при использовании загрязненных материалов для сушки и травления – фильтров, тампонов и т.п. Поэтому и образцы, и материалы для травления в металлографической лаборатории хранят в закрытых емкостях.

На рис. 1 показаны различные по происхождению объекты на поверхности нетравленного шлифа стали. Объекты «1» являются оксидными включениями (рис. 1, а). Об этом свидетельствует светлый ободок вокруг них в темном поле (рис. 1, б). Второе включение лежит, по-видимому, несколько ниже плоскости шлифа и выявилось при полировке не полностью. Объекты «2» являются частицами полировочного материала; это подтверждается наличием характерных «кометных хвостов». Остальные черные точки – пыль. Надежно разделить все эти объекты можно при использовании максимального увеличения, а также различных методов контрастирования – темного поля и поляризованного света. При используемом увеличении 100 крат велика вероятность ошибки.

На рис. 2 показан загрязненный шлиф чугуна. При  $\times 200$  практически невозможно различить пыль и точечные включения графита. При  $\times 1000$  в светлом поле надежно фиксируются включения сульфидов «1» и пыль «2»; здесь частица пыли полупрозрачна.

Три прозрачные частицы пыли показаны на рис. 3. На рис. 3, а фокусировка произведена на поверхность шлифа; структура – перлит, графит и тройная фосфидная эвтектика. На рис. 3, б фокусировка произведена на поверхность пыли; в данном случае частицы имеют плоскую поверхность и настолько прозрачны, что через них видны пластинки перлита.

Но, как правило, частицы пыли, не имеют идеально плоской поверхности, поэтому хорошо видны в темном поле (рис. 4, а). В светлом поле они бывают видны как темные образования различной степени прозрачности (рис. 4, б). Сравнение изображений с различным освещением показывает, что в темном поле «светятся», помимо пыли, границы некоторых включений графита и матрицы.

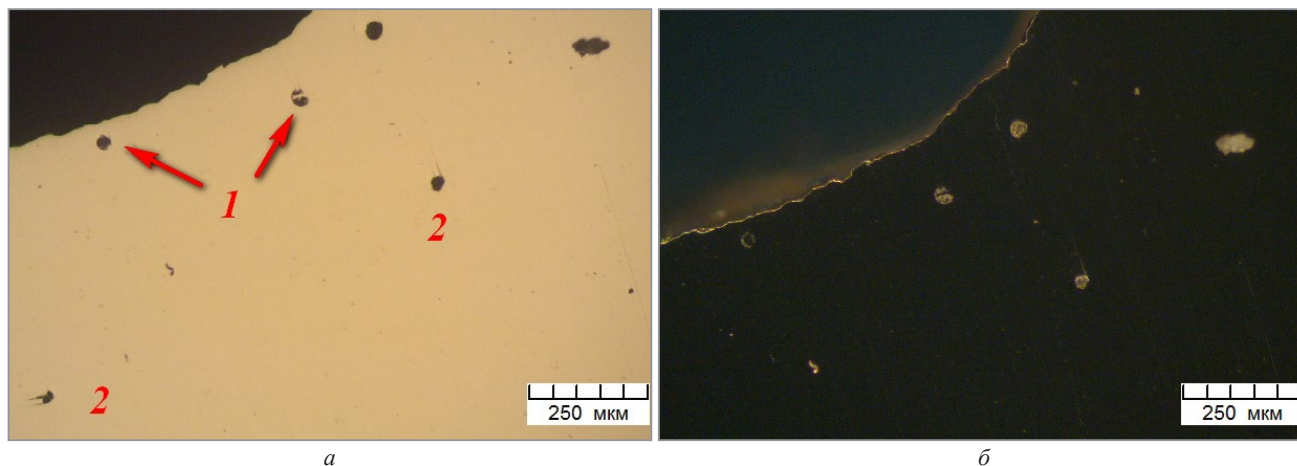


Рис. 1. Оксидные включения, пыль и частицы полировочного материала на шлифе стали: а – светлое поле; б – темное поле

На рис. 5 показана структура стеклянной заготовки для эмали с авантюриновым эффектом [6]. В темном поле при  $\times 500$  на поверхности и в верхних слоях стекла видны кристаллы соединений хрома (рис. 5, *а*) – с радужной расцветкой и крупный светлозеленый, а также темно-зеленые включения неустоявшегося происхождения и неправильной формы. При  $\times 1000$  в темном поле видно, что эти включения являются пылью на поверхности стекла (рис. 5, *б*). В светлом поле они дают неконтрастное изображение (рис. 5, *в*), но располагаются выше поверхности образца.

Крупная частица, которая по классификации [5] является песком, показана на рис. 6. По сути, это, возможно, чешуйка какого-то материала. Более контрастна она в темном поле. Интересный случай показан на рис. 7. В светлом поле и поляризованном свете зафиксированы артефакты на поверхности шлифа. Поскольку образец представляет собой чистый вольфрам, то видимые эффекты на поверхности не могут быть связаны с присутствием каких-либо фаз. Серые пятна «1» – частицы пыли, в нижнем правом углу снимка находится крупная пылевая частица не в фокусе (рис. 7, *а*). В поляризованном свете частицы пыли дают размытые светлые изображения (рис. 7, *б*). Остальные артефакты созданы мелкими пятнами воды, а также, возможно, мелкими прозрачными частицами пыли, имеющими форму, близкую к шаровидной. Все эти объекты могут давать в поляризованном свете эффект «темного креста» [7], что и наблюдается в некоторых участках «2».

Частицы пыли при взаимодействии с водой и травителями создают эффекты на поверхности образца. На рис. 8, *а* показан ободок вокруг частицы, сформировавшийся при высыхании воды после некачественной промывки шлифа. Ободок имеет дендритную морфологию вследствие кристаллизации раствора посторонних примесей. Возможно также, что растворяется и сама частица. При травлении шлифа, на котором уже находятся пылевые частицы, на поверхности могут формироваться радужные пятна (рис. 8, *б*). В других случаях частицы пыли окисляются, приобретая окраску (рис. 9).

На рис. 10, *а* показан перетравленный шлиф бронзы. Светлый кольцевой участок образовался, вероятно, вследствие нахождения в данном месте пузырька воздуха при травлении погружением. Эффект на рис. 10, *б* не является артефактом. Это оксидное включение в трубной стали 14ХГС. Оно окружено нетравящейся зоной, которая отличается от остального образца химическим составом.

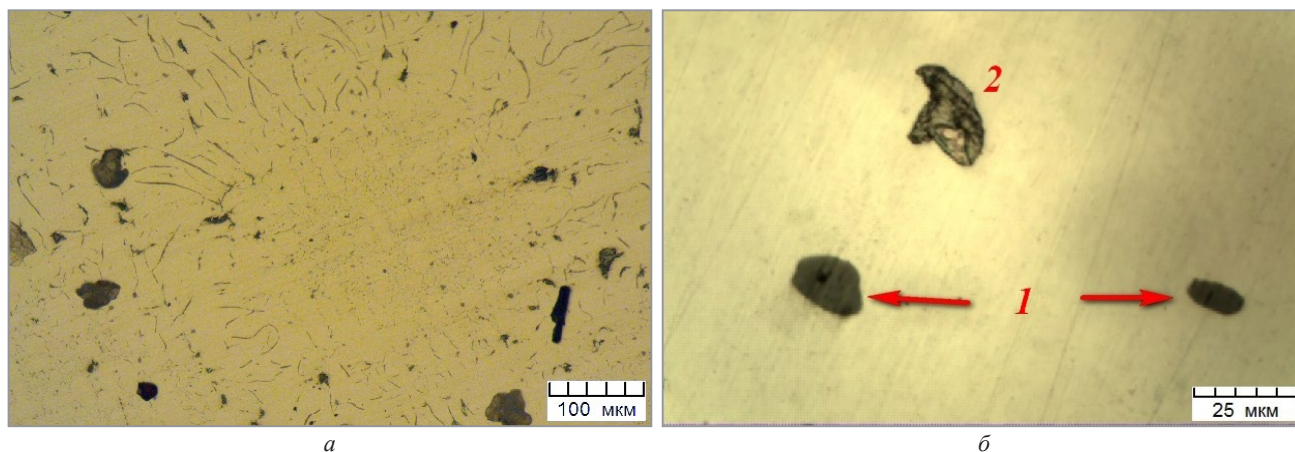


Рис. 2. Поверхность нетравленых образцов в светлом поле: *а* – чугун; *б* – углеродистая сталь

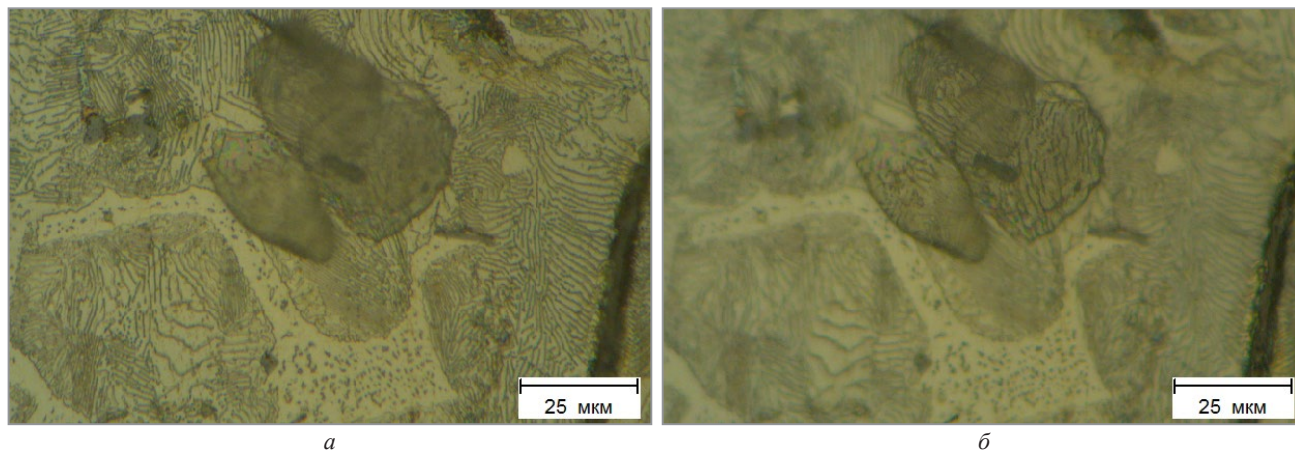


Рис. 3. Пыль на шлифе серого чугуна: *а* – фокусировка на структуру; *б* – фокусировка на частицу пыли



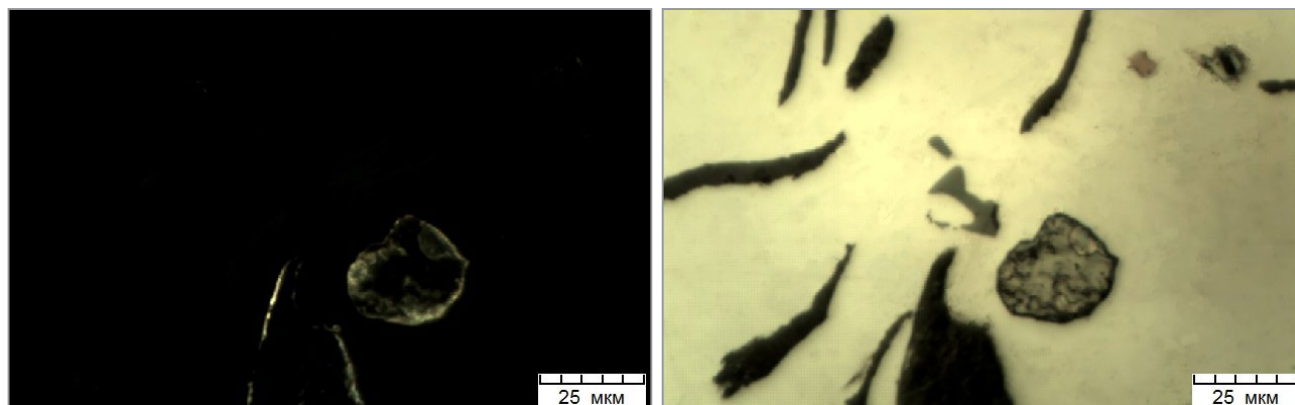


Рис. 4. Серый чугун, без травления: *а* – темное поле; *б* – светлое поле

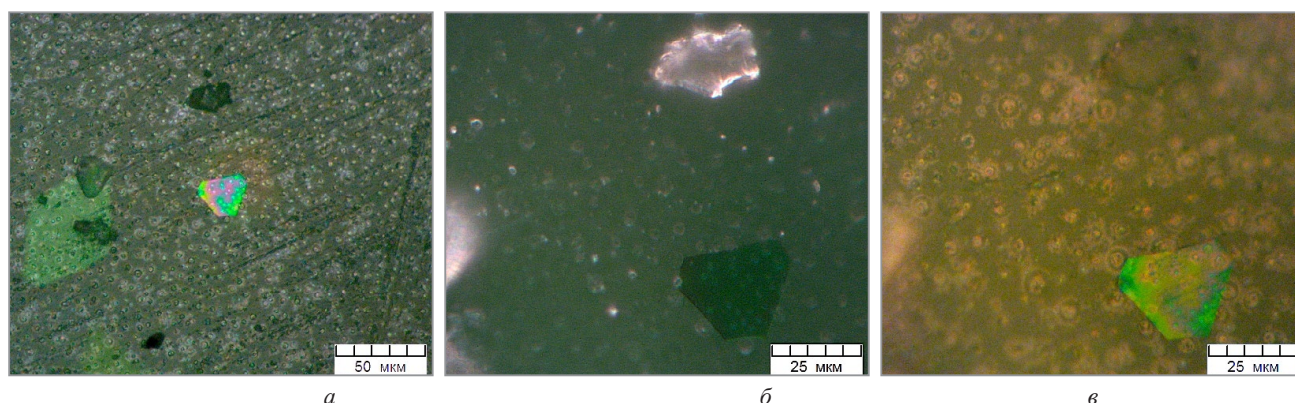


Рис. 5. Микросталлы соединений хрома в стеклянной матрице: *а, б* – темное поле; *в* – светлое поле

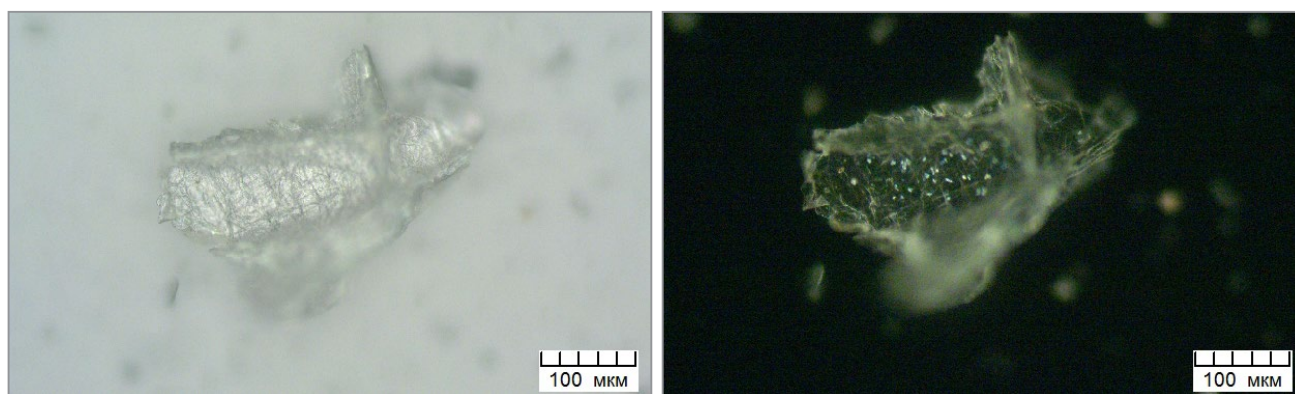


Рис. 6. Крупная пылевая частица: *а* – светлое поле; *б* – темное поле

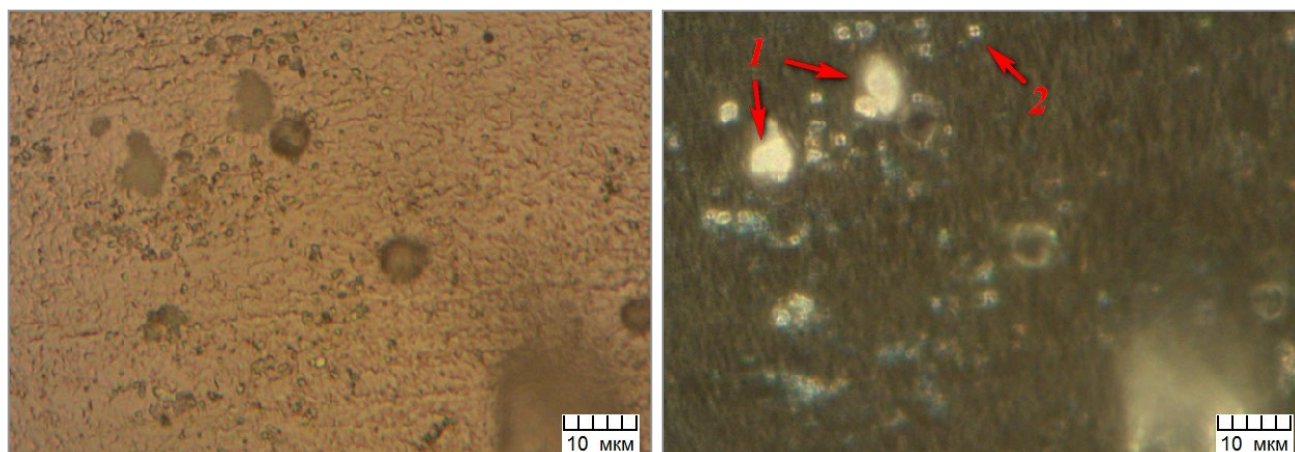


Рис. 7. Поверхность шлифа вольфрама: *а* – светлое поле; *б* – поляризованный свет



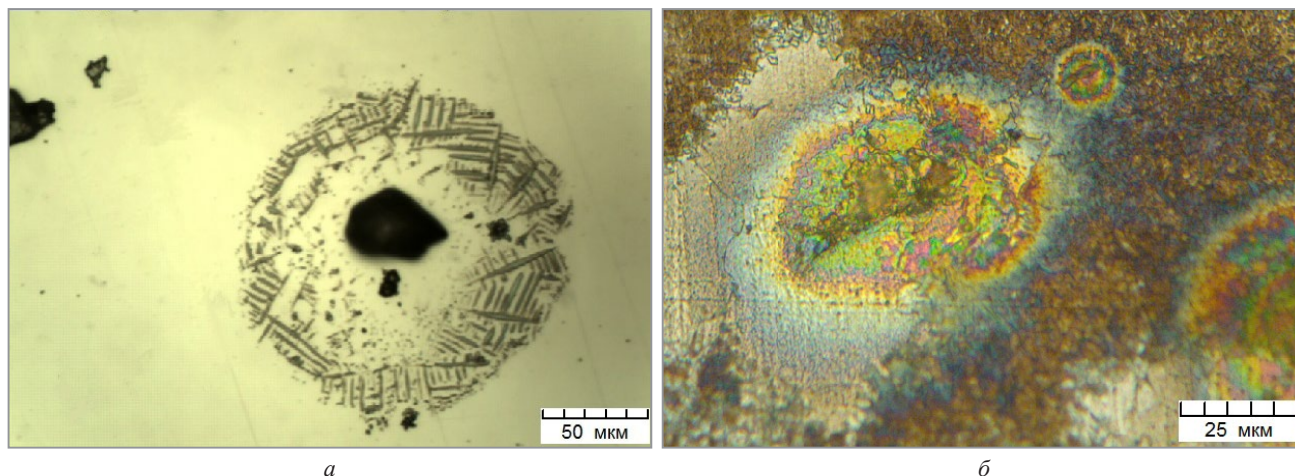


Рис. 8. Ободки вокруг частиц пыли:

*а* – нетравленный шлиф, промывка водой; *б* – сталь, травление 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте

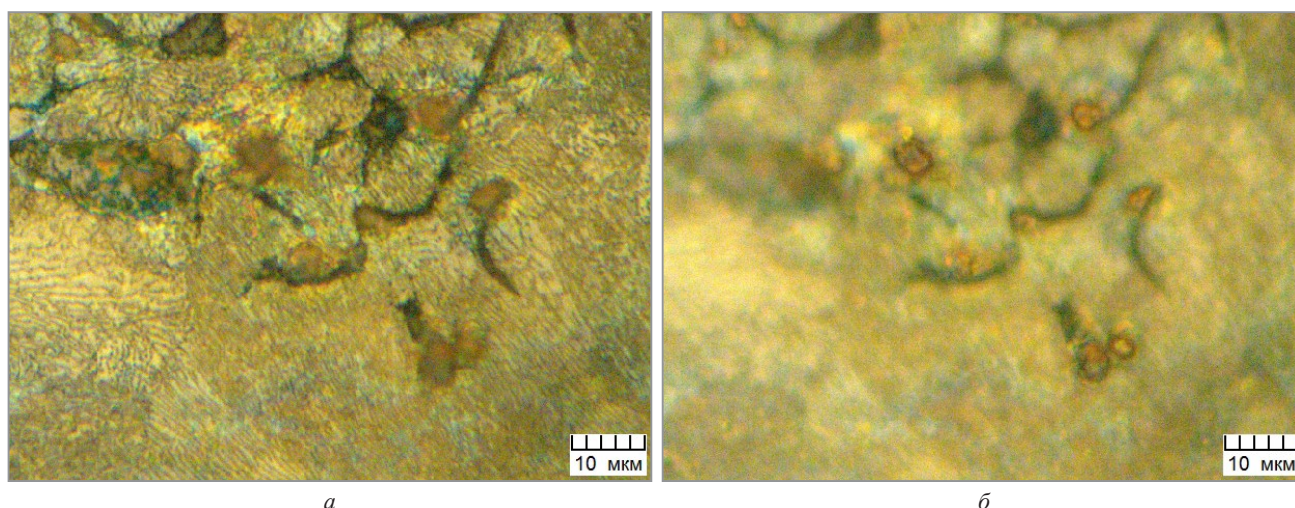
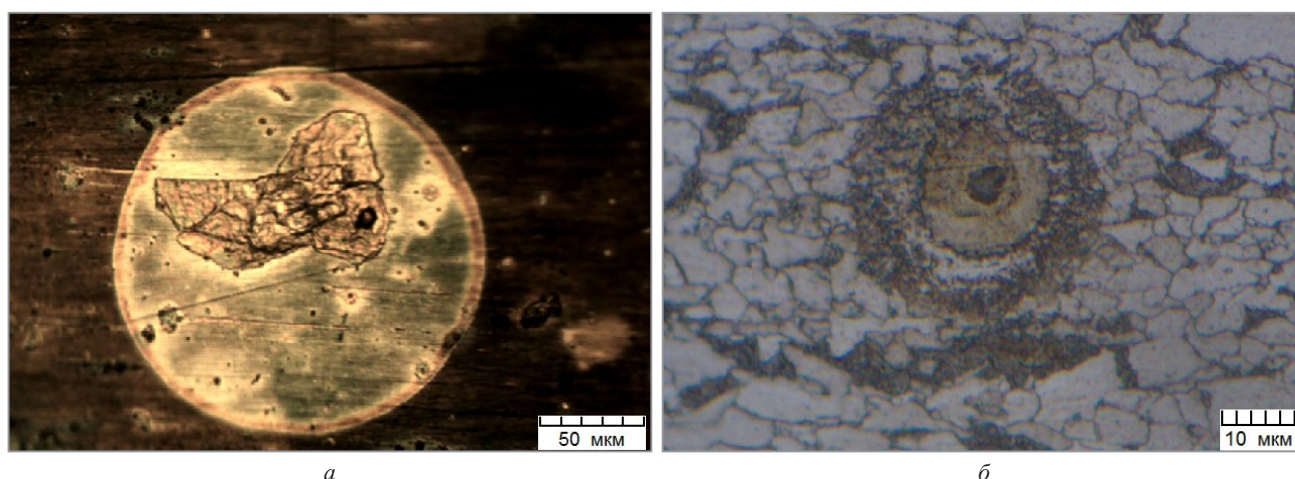
Рис. 9. Частицы пыли после травления: *а* – фокусировка на структуру; *б* – фокусировка на частицы пыли

Рис. 10. Кольцевые эффекты при травлении:

*а* – бронза; *б* – трубная сталь; травление 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте

### ЛИТЕРАТУРА

1. Приборы и методы физического металловедения / Под. ред. Ф. Вайнберга; М.: Мир, 1973. Т. 1.
2. Панченко, Е. В. Лаборатория металлографии / Е. В. Панченко, Ю. А. Скаков, Б. И. Криммер. М.: Металлургия, 1965. 440 с.
3. Анисович, А. Г. Практика металлографического исследования материалов / А. Г. Анисович, И. Н. Румянцев. Минск: Беларуская навука, 2013. 221 с.
4. Анисович, А. Г. Искусство металлографии: использование методов оптического контрастирования / А. Г. Анисович // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2016. № 1. С. 36–42.

5. Пыль // Wikipedia.org [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>. Дата доступа: 19.05.2019.
6. Елисеев, С. Ю. Эмаль с авантюриновым эффектом / С. Ю. Елисеев, Р. П. Родцевич, Е. В. Достанко // Стекло и керамика. 2000. № 4. С. 30–32.
7. Татарский, В. Б. Кристаллооптика и эмерсионный метод / В. Б. Татарский. М.: Недра, 1965. 306 с.

## REFERENCES

1. *Pribory i metody fizicheskogo metallovedenija* [Devices and methods of physical metallurgy]. Moscow, Mir Publ., 1973, vol. 1.
2. Panchenko E.V., Skakov Ju.A., Krimer B.I. *Laboratorija metallografii* [Laboratory of Metallography]. Moscow, Metallurgija Publ., 1965, 440 p.
3. Anisovich A.G., Rumjanceva I.N. *Praktika metallograficheskogo issledovanija materialov* [The practice of metallographic research of materials.]. Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2013, 221 p.
4. Anisovich A. G. Iskusstvo metallografii: ispol'zovanie metodov opticheskogo kontrastirovanija [The art of metallography: the use of optical contrast methods]. *Vesci NAN Belarusi. Ser. fiz.-tehn. navuk.* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical series*, 2016, no. 1, pp. 36–42.
5. <https://ru.wikipedia.org>.
6. Eliseev S. Ju., Rodcevich R. P., Dostanko E. V. Jemal' s avantjurnovym jeffektom [Enamel with aventurine effect]. *Steklo i keramika* = *Glass and Ceramics*, 2000, no. 4, pp. 30–32.
7. Tatarskij V.B. *Kristallooptika i jemersionnyj metod* [Crystal optics and emersion method], Moscow, Nedra Publ., 1965, 306 p.